



วารสารวิชาการ อุตสาหกรรมศึกษา

URL : <http://ejournals.swu.ac.th/index.php/jindedu/issue/archive>

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561

JOURNAL OF INDUSTRIAL EDUCATION, FACULTY OF EDUCATION, SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

Volume 12 No. 1 January – June 2018

การศึกษาเชิงตัวเลขของระบบหมุนเวียนอากาศใต้สวนหลังคาเพื่อการปรับอากาศ
ด้วยวิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

**Numerical Investigation Of An Air Circulation System Under A Green Roof For
Air Conditioning Using Computational Fluid Dynamics**

สิทธิพงษ์ เพ็ญพิทักษ์^{1*}, ขวัญชัย ไกรทอง², ณัฐพงศ์ เขียวน้อย²
Sittipong Permpituck^{1*}, Kwanchai Kraitong², Nuttapong Khiaonoi²

¹ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹Department of Architecture, Faculty of Architecture, Naresuan University, Thailand.

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Thailand.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากสวนหลังคาแบบแผ่นเรียบเพื่อปรับอุณหภูมิอากาศภายในห้อง โดยใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็นด้านล่างของหลังคาที่ช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน ที่ซึ่งการวิเคราะห์การไหลเวียนถูกทำด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยเป็นการวิเคราะห์ลักษณะการหมุนเวียนของอากาศในรูปแบบที่กำหนดขึ้นที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและการกระจายอุณหภูมิภายในห้อง จากการวิเคราะห์ของแบบจำลองเชิงตัวเลขพบว่าระบบหมุนเวียนอากาศที่ได้ออกแบบขึ้น สามารถรักษาอุณหภูมิอากาศภายในห้องให้มีค่าน้อยกว่า 30°C ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศภายนอกอยู่ที่ 37°C โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอกสูงสุดเท่ากับ 8°C

คำสำคัญ: สวนหลังคา พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ระบบหมุนเวียนอากาศ การปรับอากาศ

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์ ,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงษ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

Abstract:

This research aims to numerically study for utilization of the green roof on flat roof construction in order to regulate the air temperature in a room using an air circulation system through a cold lower surface of the flat roof located at a space above a ceiling. The numerical analysis was done using the method of Computational Fluid Dynamics, CFD, to investigate the effect of the designed air circulation pattern on the heat transfer and the temperature distribution in the room. For the numerical results, it was found that the designed air circulation system could keep the room temperature being less than 30 °C while the ambient temperature of 37 °C at the maximum difference of temperature between the inside and outside temperatures being 8 °C.

Keyword:Green roof, Computational Fluid Dynamics, Air circulation system, Air conditioning

บทนำ

ในปัจจุบันอุณหภูมิอากาศภายนอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเพิ่มสูงขึ้น การใช้การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติ (Passive cooling) ถูกประยุกต์ใช้ในการปรับสภาวะอากาศร่วมกับระบบปรับอากาศในอาคารเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน หลักการของการใช้การทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติทำได้โดยการปรับสภาวะของสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบอาคารให้มีความเหมาะสม อาจทำได้โดยการเพิ่มร่มเงาบริเวณรอบอาคาร หรือออกแบบช่องลมเพื่อเพิ่มการหมุนเวียนของลมในอาคาร จากการศึกษางานวิจัยพบว่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบระบายอากาศคิดเป็น 60% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด (เฉลิมพล ถนอมกลางและจตุวัฒน์ วโรตมพันธ์, 2556; ณัฐพล เตชพิชิตโชคและสุดาภรณ์ จุ่งลู่, 2556) โดยที่หลังคาของอาคารมีภาระความร้อนจากการแผ่รังสี และการนำความร้อนมากกว่าเปลือกอาคาร เนื่องจากบริเวณหลังคาจะรับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนพบว่า บริเวณหลังคามีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนคิดเป็นสามเท่าของพื้นที่การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารทั้งสี่ด้าน ดังนั้นการลดภาระความร้อนที่ผ่านเข้ามาจากทางด้านหลังคาของอาคารจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นได้เป็นอย่างมาก

การติดตั้งฉนวนความร้อนเหนือฝ้าเพดานเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการป้องกันความร้อนจากหลังคาเข้าสู่อาคาร เนื่องจากฉนวนกันความร้อนมีค่าความหน่วงความร้อน (Thermal lag) ต่ำ ส่งผลให้เกิดความผันผวนของอุณหภูมิในระหว่างวัน การเพิ่มค่าความหน่วงความร้อนให้กับฉนวนกันความร้อนเพื่อให้สามารถเก็บกักความร้อนได้ตลอดทั้งวัน สามารถทำได้โดยการเพิ่มความหนาของฉนวน แต่การทำเช่นนี้จะทำให้ราคาในการติดตั้งสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบจึงแนะนำให้ใช้สวนหลังคา (Green roof) ร่วมกับการใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร (ทรินันท์ สวัสดิ์รัตนาร, 2550) เนื่องจากสวนหลังคาทำให้เกิดการเพิ่มการสะท้อนของรังสีความร้อนออกจากบริเวณหลังคา ทั้งนี้สวนหลังคายังมีประโยชน์ในการจัดการน้ำ เนื่องจากพื้นที่ในเมืองถูกปกคลุมไปด้วยอาคารน้ำซึมผ่านได้เพียง 5% ของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ซึ่งมักจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำท่วมในเวลาที่ไม่ฝนตกหนักเนื่องจากน้ำไม่สามารถระบายลงสู่ผิวดินได้ทัน สวนหลังคาช่วยจัดการน้ำฝนเพราะพืชที่ปกคลุมผิวดินอยู่จะช่วยดูดซับน้ำไว้ได้มากกว่าหลังคาปกติ นอกจากนี้สวนหลังคายังช่วยเพิ่มร่มเงาให้กับเปลือกอาคารและปรับ ภูมิทัศน์ให้กับอาคารได้อีกด้วย (พชร เลิศปิวิวัฒนา, 2558; กนกวลี สุธีธร, 2548)

สวนหลังคาใช้หลักการถ่ายเทความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ (Evaporative cooling) และหลักการการถ่ายเทความร้อนด้วยความร้อนแฝง (Latent heat) จากหลังคาของอาคารสู่สิ่งแวดล้อม โดยประเภทของสวนหลังคาแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ สวนหลังคาแบบใช้สอย (Intensive green roof) ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 1,500 – 3,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร และสวนหลังคาแบบไม่ใช้สอย (Extensive green roof) ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 100 – 1,000 กิโลกรัม/ตารางเมตร ซึ่งสวนหลังคาประเภทนี้ต้องการการดูแลรักษาน้อยกว่าแบบแรก เนื่องจากใช้พืชพรรณขนาดเล็ก เช่น หญ้าหรือพืชคลุมดิน (กนกวลี สุธีธร, 2548) อย่างไรก็ตามในการติดตั้งสวนหลังคาจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของพื้นหลังคาและรวมถึงวัสดุกันน้ำซึม ซึ่งเพื่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับหลังคา นำเสนอภูมิหลังการทำวิจัย แสดงที่มาของปัญหาการศึกษาปัญหาและแนวทางการทำวิจัยโดยมีข้อมูลสนับสนุน เช่น อ้างอิงจากผลการศึกษางานวิจัยหรือหลักการต่าง ๆ

จากคำกล่าวข้างต้น สวนหลังคาถูกพบว่ามีศักยภาพในการลดภาระความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา ซึ่งส่งผลให้พื้นหลังคามีอุณหภูมิต่ำเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการปรับอากาศในอาคาร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการปรับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวดินด้านล่างของพื้นหลังคาผ่านช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน ซึ่งการวิเคราะห์การไหลเวียนจะถูกทำด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบ 3 มิติ ที่ถูกนำเสนอว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำนายถึงรูปแบบของการไหลและการกระจายตัวของอากาศ

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์, ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

วัตถุประสงค์การวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเชิงตัวเลขของระบบหมุนเวียนอากาศใต้สวนหลังคาเพื่อการปรับอากาศด้วยวิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในพัฒนาและปรับปรุงการออกแบบระบบปรับอากาศด้วยระบบหมุนเวียนอากาศร่วมกับสวนหลังคาที่มีประสิทธิผลต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้ คือ ทำการศึกษาการปรับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคาผ่านช่องว่างเหนือฝ้าเพดานด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบ 3 มิติ โดยเป็นการปรับปรุงลักษณะสวนหลังคาที่ทำการสร้างและทดสอบโดย Permpituck and Namprakai (2012)

การทบทวนวรรณกรรม

ด้วยประโยชน์ของสวนหลังคาซึ่งสามารถลดภาระความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่นำไปสู่การลดพลังงานไฟฟ้าในอาคารจึงพบงานวิจัยที่ทำโดย Permpituck and Namprakai (2012) ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของสวนหลังคาในการป้องกันภาระความร้อนโดยใช้การสร้างแบบจำลองของสวนหลังคาและเก็บข้อมูลจากการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อหาปัจจัยในการลดภาระความร้อน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาใช้ร่วมกับแบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics model) แบบหนึ่งมิติเพื่อใช้ในการทำนายค่าการส่งถ่ายความร้อนซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์การใช้พลังงาน จากการทดสอบกับแบบจำลองสวนหลังคาขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 6 เมตร และสูง 6 เมตรพบว่าที่ความหนาของชั้นดินเหนือหลังคา 20 เซนติเมตรให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของเพดานเท่ากับ 20°C และสามารถลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ารายปีได้ประมาณ 37.11 % เมื่อเทียบกับหลังคาปกติโดยการเพิ่มความหนาชั้นดินของสวนหลังคามีผลต่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสวนหลังคา ได้แก่นางนันทนาเสนอโดย Wong et al. (2003) ซึ่งพบว่าความชื้นที่เก็บสะสมในดินมีผลเป็นอย่างมากในการรักษาอุณหภูมิของหลังคาให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก ความชื้นในดินจะทำให้เกิดการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาเข้าสู่ตัวอาคาร และ Lazzarin et al. (2005) ได้ศึกษาสวนหลังคาในสภาวะของดินที่มีความชื้นต่ำ ในการทดลองนี้ได้ติดตั้งสวนหลังคาไว้บนอาคารที่เพดานเป็นคอนกรีตและมีฉนวนกันความร้อนอยู่ใต้หลังคา ซึ่งพบว่าสวนหลังคาสามารถลดการรับความร้อน (Thermal gain) ได้ถึง 60 % เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพียงอย่างเดียว

การใช้แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติในการทำนายการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของสวนหลังคาซึ่งส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในอาคารนั้นมีข้อจำกัด เนื่องจากการใช้แบบจำลองทางอุณหพลศาสตร์แบบหนึ่งมิติไม่สามารถบ่งบอกถึงกระจายอุณหภูมิของเปลือกอาคารและการหมุนเวียนของอากาศภายในอาคาร ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถบ่งบอกถึงการกระจายอุณหภูมิและลักษณะการไหลเวียนของอาคารรวมถึงการถ่ายเทความร้อนของสวนหลังคา

Poptani (2014) ได้ทำการใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อช่วยออกแบบสวนหลังคาของอาคารที่มีลักษณะเป็นอาคารเชิงพาณิชย์ในประเทศอินเดีย โดยใช้ซอฟต์แวร์ Autodesk Simulation CFD ในการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิของอาคารที่ติดตั้งสวนหลังคาและอาคารที่ไม่ได้ติดตั้งสวนหลังคา โดยการทดลอง

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

เชิงตัวเลขนี้ใช้อาคารขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร และสูง 3 เมตร โดยมีหน้าต่างสองบานอยู่ทางทิศใต้ และมีประตูอยู่ทางทิศเหนือ ความหนาของผนังและเพดานมีค่า 23 เซนติเมตร จากผลการทำนายการกระจายอุณหภูมิพบว่าอาคารที่ติดตั้งสวนหลังคาสามารถลดภาระความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายนอกและภายในห้องมีค่าเท่ากับ 4°C และงานวิจัยที่ทำโดย Ahasan et al. (2014) ซึ่งทำการวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนของสวนหลังคาโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS ในการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้ชุดสมการในการทำนายของไหลแบบปั่นป่วน ผลการทำนายการกระจายของอุณหภูมิเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง CFD กับข้อมูลการวัดจากการทดลองพบว่าข้อมูลอุณหภูมิจากแบบจำลอง CFD มีความแตกต่างจากการทดลองเพียง 1.7% มากไปกว่านั้นงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าของสวนหลังคาในการปรับปรุงสภาวะอากาศในชุมชนโดยใช้การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณถูกนำเสนอโดย Alcazar et al. (2016) ที่ซึ่งทำการจำลองการไหลของอากาศรอบกลุ่มอาคาร จากการทดลองเชิงตัวเลขพบว่าอากาศบริเวณรอบอาคารหลังจากติดตั้งสวนหลังคามีอุณหภูมิลดลง $0.1 - 2^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิของอากาศที่ได้จากแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณและเครื่องมือวัดมีความแตกต่างกันอยู่ที่ 1-15 % ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 4 % ซึ่งค่าความผิดพลาดในการทำนายมาจากผลของความชื้นในดิน

ในการปรับปรุงสภาวะอากาศนอกจากปัจจัยของอุณหภูมิและความชื้นแล้ว การไหลเวียนของอากาศในอาคารเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการลดความชื้นที่ซึ่งเป็นสาเหตุของการสะสมเชื้อโรคในอาคาร จากการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การหมุนเวียนของอากาศภายในอาคารส่งผลต่อการสร้างสภาวะความสบาย (Thermal comfort) รวมถึงเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน (Straube, 2007) ในกระบวนการพาความร้อนนั้นอุณหภูมิของอากาศจะลดลงเมื่ออากาศไหลเวียนผ่านพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ และเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศให้สูงขึ้นจะส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน หลักการดังกล่าวถูกนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำความเย็นในอาคารโดยการหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็น (Cold surface) เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารซึ่งถือเป็นทางเลือกในการปรับสภาวะอากาศแทนการใช้เครื่องปรับอากาศ การปรับสภาวะอากาศในลักษณะนี้นอกจากจะทำความเย็นให้กับอาคารด้วยการพาความร้อนแล้ว ยังลดการแผ่รังสีความร้อนของผู้อยู่อาศัยและสิ่งของในอาคารได้อีกด้วย (Hartwig et al., 2010) การออกแบบระบบการหมุนเวียนอากาศและการระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงต้องอาศัยความเข้าใจในปรากฏการณ์การไหลของอากาศ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงคุณลักษณะการไหลรวมถึงรูปแบบการไหลที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน เพื่อสร้างสภาวะความสบายให้เกิดขึ้นในอาคารโดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดอย่างไรก็ตามเพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์การไหลของอากาศ คุณลักษณะการไหลรวมถึงรูปแบบการไหลที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถบ่งบอกถึงรูปแบบของการไหลและการกระจายตัวของอากาศได้ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การหมุนเวียนของอากาศในอาคาร (Susin et al., 2007; Hajdukiewicz et al., 2013)

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงลักษณะสวนหลังคาที่ทำการสร้างและทดสอบโดย Permpituck และ Namprakai (2012) ดังแสดงภาพชุดทดสอบสวนหลังคา ก่อนการปรับปรุงในภาพประกอบ 1

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์, ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

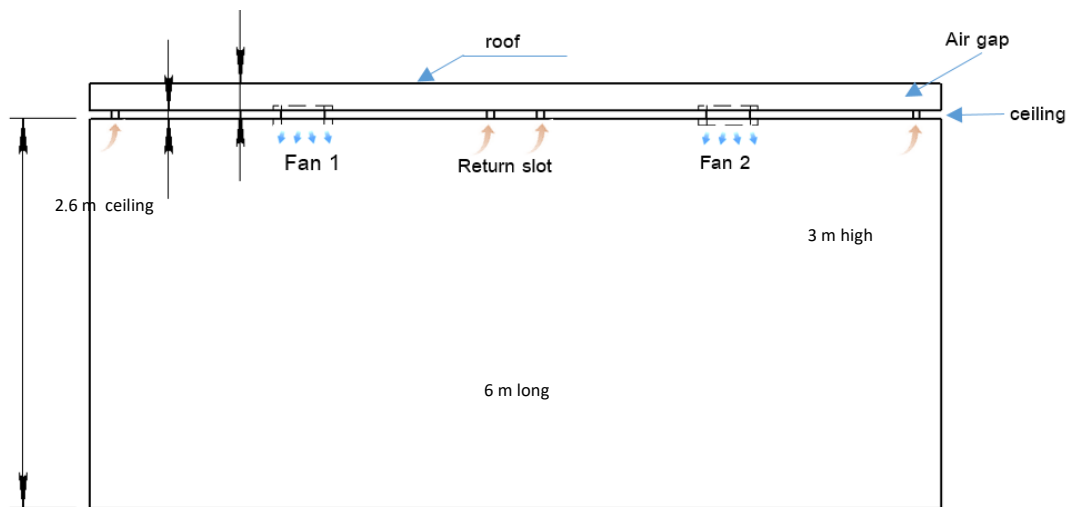


ภาพประกอบ 1 แสดงภาพลักษณะสวนหลังคาที่ทำการสร้างและทดสอบโดย Permpituck and Namprakai (2012)

โดยทำการปรับปรุงด้วยการเพิ่มระบบหมุนเวียนอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วยช่องลม(Air space)เหนือฝ้าตั้งแสดงในภาพประกอบ 2 ที่ซึ่งพัดลมดูดอากาศจะทำหน้าที่หมุนเวียนอากาศผ่านพื้นผิวเย็นบริเวณเพดานใต้สวนหลังคา ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง โดยอากาศที่เย็นตัวไหลผ่านพัดลมเข้าสู่ห้อง และอากาศภายในห้องไหลผ่านช่องลมดูดกลับ(Return air slot)เพื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวเย็นอีกครั้งหนึ่ง ลักษณะสวนหลังคาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 3X6X3 เมตร ความสูงของฝ้ามีค่า 2.6 เมตร ขนาดของช่องลมดูดกลับเหนือฝ้ากว้าง 5 เซนติเมตร ฝ้ามีความหนา 9 มิลลิเมตร และฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้ามีความหนา 75 มิลลิเมตรพัดลมระบายอากาศมีขนาดใบพัด 12 นิ้ว พัดลมทั้งสองมีอัตราการไหลเชิงปริมาตร 750 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ในการจำลองเชิงตัวเลขด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนี้กำหนดให้อุณหภูมิผิวของเพดานมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงจากข้อมูลการทดสอบภาคสนามของ Permpituck and Namprakai (2012) ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาของชั้นดินเป็น 20 เซนติเมตร และอุณหภูมิของผิวของเพดานจะมีความแปรปรวนเล็กน้อยโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20°C

ในงานวิจัยนี้ทำการจำลองเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติ ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยใช้โปรแกรม ANSYS โดยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการไหลของของไหลรวมไปถึงการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากของไหล เป้าหมายของการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ คือ การศึกษา และการทำความเข้าใจในปรากฏการณ์ของไหลในขณะที่ยังไม่มีการเคลื่อนที่ สมการหลัก (Governing equation) ที่ใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของของไหลถูกสร้างขึ้นโดยการอาศัยหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ ซึ่งประกอบไปด้วย สมการการอนุรักษ์มวล สมการการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม และสมการการอนุรักษ์พลังงาน (Anderson, 2009) โดยสมการหลักของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมีดังนี้

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์, ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)



ภาพประกอบ 2 แสดงภาพตัดขวางของลักษณะแบบจำลองสวทหลังคาที่มีระบบหมุนเวียนอากาศ

$$\text{สมการอนุรักษ์มวล : } \frac{D\rho}{Dt} + \rho \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \quad (1)$$

$$\text{สมการอนุรักษ์โมเมนตัม : } \rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial P}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2)$$

$$\text{สมการอนุรักษ์พลังงาน : } \rho c_\mu \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_\mu u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -P \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + k \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} - \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3)$$

นอกจากนี้ยังใช้ร่วมกับสมการการไหลแบบปั่นป่วน โดยเป็นสมการที่อธิบายการไหลที่มีความผันผวนของความเร็วใน
ทุกๆทิศทางการไหล แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนประกอบไปด้วยชุดสมการซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการทำ
นายการไหล ที่ซึ่งเป็นชุดสมการการไหลแบบปั่นป่วนที่ถูกพัฒนามาจากชุดสมการเรย์โนลด์ส์นิมเบอร์เฉลี่ย(Reynolds
Average Navier-Stokes,RAN) ดังแสดงไว้ในสมการที่ 4 และสมการที่ 5 และเป็นสมการที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงาน
ออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ต้องการใช้ข้อมูลของความเร็วเฉลี่ยในการไหลของของไหล

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

$$\rho \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial P'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + F_i \quad (5)$$

เมื่อ P' คือค่าความดันปรับแต่ง ซึ่งคำนวณได้จากความดันของของไหลตามสมการ

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

$$P' = p + \frac{2}{3}k \quad (6)$$

ค่าความหนืดของการไหลแบบปั่นป่วน μ_t ถูกเขียนให้อยู่ในรูปของสัดส่วนของความเร็ว (Velocity scale, u) และ สัดส่วนของความยาวของช่องการไหล (Length scale, L) ดังแสดงในสมการที่ 7

$$\mu_t = \rho c_\mu k^{1/2} L \quad (7)$$

เมื่อ $u = k^{1/2}$ คือสัดส่วนของความเร็วที่เขียนอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน k และ c_μ คือค่าคงที่ ซึ่งหาได้จากการทดลองซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.09

แบบจำลองของการไหลแบบปั่นป่วนถูกนิยามด้วยตัวแปรในสมการขนส่ง (Transport equation) จำนวนสองตัวแปรคือ พลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน k และตัวแปรของความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน k กับสัดส่วนของความยาวของช่องการไหล L สำหรับแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k - \varepsilon$ ความสัมพันธ์ของ k กับ L ในสมการที่ 7 มีค่าเท่ากับ $\frac{k^2}{\varepsilon}$ เมื่อ ε คืออัตราการสูญเสียของพลังงานจลน์ (Dissipation rate of kinetic energy) จากสมการที่ 7 จะสามารถเขียนสมการของค่าความหนืดของของไหลแบบปั่นป่วนสำหรับแบบจำลอง $k - \varepsilon$ ดังสมการที่ 8

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

ในทางเดียวกันสำหรับแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k - \omega$ ความสัมพันธ์ของ k กับ L ในสมการที่ 7 มีค่าเท่ากับ $\frac{k}{\omega}$ เมื่อ $\omega = \frac{\varepsilon}{c_\mu k}$ ดังนั้นจากสมการที่ 7 จะสามารถเขียนสมการของค่าความหนืดของแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k - \omega$ ดังสมการที่ 9

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k}{\omega} \quad (9)$$

ในการศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k - \varepsilon$ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่นิยมสำหรับการจำลองการไหลในงานอุตสาหกรรม และมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ รวมถึงใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก

การวิเคราะห์กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติของสวนหลังคาที่มีระบบหมุนเวียนอากาศผ่านพื้นผิวเย็นดังนี้

1. เพดานใต้สวนหลังคามีอุณหภูมิคงที่ที่ 20°C
2. ไม่มีการถ่ายเทความร้อนจากพื้นของอาคาร
3. ด้านกว้างของอาคารวางตัวอยู่ในทิศเหนือและใต้ ส่วนด้านยาวของอาคารวางตัวอยู่ในทิศตะวันออก และตะวันตก
4. ผนังของอาคารทำมาจากอิฐฉาบเรียบและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนของอากาศภายนอกมีค่า 10 วัตต์ต่อตารางเมตรเคลวิน

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์ ,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

5. ค่าภาระความร้อนของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ถูกคำนวณจากแบบจำลอง Solar loading model ในซอฟต์แวร์ ANSYS ซึ่งกำหนดรังสีตกกระทบของอาคารที่ ละติจูด 16.74342 และ ลองจิจูด 100.19690

6. ตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดสภาวะขอบเขตของพัลลภระบายอากาศมีดังนี้ ความเร็วต่ำสุด และความเร็วสูงสุด อยู่ที่ 0 และ 2.85 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ค่าความแตกต่างของความดันของใบพัดพัลลภอยู่ที่ 20 ปาสคาล

7. ความร้อนที่เกิดจากพัลลภมีค่า 6 วัตต์

สมมติฐานการวิจัย

งานวิจัยนี้มีสมมติฐานการวิจัยถึงการปรับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคาผ่านช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นลักษณะการทดลองเชิงตัวเลขโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ขั้นที่ 1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยของ Permpituck and Namprakai (2012) ที่ได้ถูกกำหนดเป็นชุดทดสอบต้นแบบสำหรับการปรับปรุง

ขั้นที่ 2. ทำการสร้างแบบจำลองเชิงกายภาพแบบ 3 มิติ และสร้างช่องตารางโครงถักของชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคาผ่านช่องว่างเหนือฝ้าเพดานด้วยโปรแกรม ANSYS

ขั้นที่ 3. ทำการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลของอากาศในปริมาตรชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคาผ่านช่องว่างเหนือฝ้าเพดานด้วยโปรแกรม ANSYS

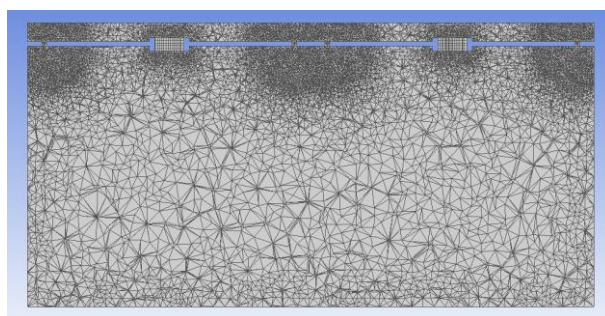
ขั้นที่ 4. ทำการวิเคราะห์และประเมินผลลักษณะการไหลและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดสอบที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข

ขั้นที่ 5. สรุปผลและนำเสนอข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัย

การจำลองอาคารที่ด้านบนติดตั้งส่วนหลังคาพร้อมกับระบบไหลเวียนอากาศนี้ได้ทำการจำลองสภาวะอากาศในวันที่ร้อนที่สุดของปี โดยใช้แบบจำลองของไหลแบบปั่นป่วน $k-\epsilon$ ร่วมกับแบบจำลองภาระความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ขนาดของช่องตาราง (Mesh) ที่ใช้ในแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบ 3 มิติ คือ 3 เซนติเมตร และปรับความละเอียดของช่องตารางในบริเวณพัลลภและบริเวณช่องลมดูดกลับ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายค่าของความเร็ว และการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าขนาดของตารางที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการคำนวณความเร็วและการกระจายอุณหภูมิในบริเวณพัลลภและช่องลมดูดกลับที่มีความแม่นยำในระดับหนึ่งและไม่ใช้เวลาในการคำนวณนานเกินไปคือ 2.5 มิลลิเมตร ในแบบจำลองนี้ใช้จุดในการคำนวณ (Node) ทั้งหมด 336,062 จุด และทำการคำนวณในแต่ละเงื่อนไข 1,000 ครั้งและตรวจสอบเงื่อนไขการเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยแสดงลักษณะของตารางโครงถักในแบบจำลองวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบ 3 มิติของส่วนหลังคาในภาพประกอบ 3

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์ ,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมการศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

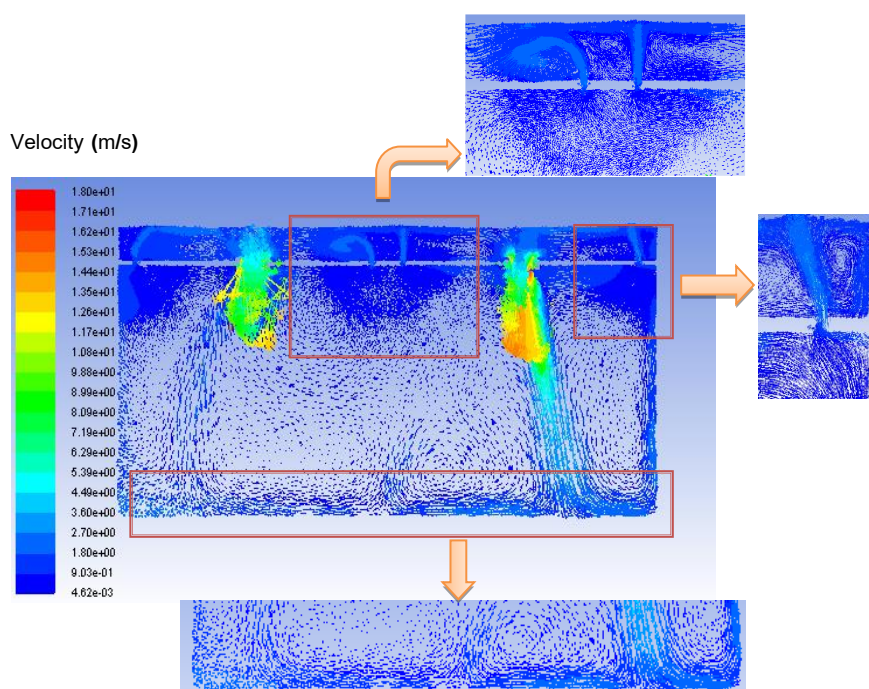


ภาพประกอบ 3 แสดงภาพตัดขวางของตารางโครงถักในแบบจำลองสวนหลังคาที่มีระบบหมุนเวียนอากาศ

จากผลการจำลองเชิงตัวเลขแบบ 3 มิติของระบบการหมุนเวียนของอากาศในห้องใต้สวนหลังคาที่มีค่าอุณหภูมิที่ผิวล่างของเพดานใต้สวนหลังคาที่เท่ากับ 20°C รูปแบบการเคลื่อนที่และความเร็วของอากาศ รวมถึงค่าการกระจายอุณหภูมิในห้องได้ถูกนำเสนอและวิเคราะห์ดังนี้

1. รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ

ผลของการจำลองเชิงตัวเลขแสดงลักษณะการหมุนเวียนของอากาศในห้องใต้สวนหลังคาที่เวลา 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงที่สุดคือ 37°C ซึ่งมีลักษณะการไหลของอากาศดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงการกระจายตัวของอากาศในแบบจำลอง

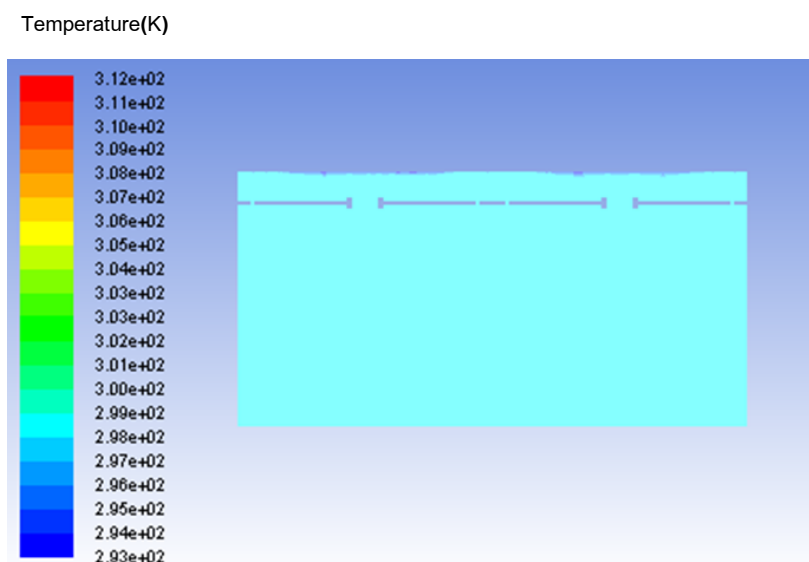
อากาศในช่องลมเหนือฝ้ามีความเร็วประมาณ 0.8 เมตรต่อวินาทีแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิวเย็นใต้เพดานซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ 20°C ทำให้อากาศในช่องลมมีอุณหภูมิลดลงประมาณ 6°C อากาศที่ตำแหน่งบริเวณด้านหน้าของด้านดูด

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์, ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

ของพัดลมมีความเร็วเฉลี่ย 3 เมตรต่อวินาทีและเมื่ออากาศผ่านพัดลมความเร็วเฉลี่ยของอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 12 เมตรต่อวินาทีอากาศที่มีความเร็วเคลื่อนที่มาพบกับอากาศภายในห้องที่อยู่หนึ่งรวมถึงวิ่งชนกับพื้นผิวของอาคารทำให้เกิดลักษณะรูปแบบการหมุนตัว เกิดการผสมกันระหว่างอากาศภายในห้องและการกระจายตัวของอากาศไปทั่วทั้งห้องทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ลักษณะการกระจายตัวของอากาศเช่นนี้ มีการถ่ายเทโมเมนตัมสูง อากาศจะผสมกันทั่วทั้งห้อง การหมุนเวียนของอากาศในลักษณะนี้เรียกว่า การระบายอากาศแบบผสม (Mixing ventilation) (Awbi, 2015)

2. การกระจายอุณหภูมิของอากาศ

จากผลการวิเคราะห์การไหลในแบบจำลองเชิงตัวเลขของห้องใต้สวนหลังคาติดตั้งระบบหมุนเวียนอากาศพบว่าอุณหภูมิภายในอาคารมีความแตกต่างจากอุณหภูมิภายนอกประมาณ $4-5^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาเช้า และ $6-8^{\circ}\text{C}$ ในช่วงเวลาบ่ายและช่วงเย็น โดยแสดงการกระจายอุณหภูมิภายในห้องในช่วงเวลา 7.00น. 15.00น. และ 18.00น. ในภาพประกอบ 5-7 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 5 แสดงผลการทำนายการกระจายอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้สวนหลังคาในช่วงเวลา 7.00 น.

ในช่วงเวลาตอนเช้า ค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ต่ำและอุณหภูมิภายนอกไม่สูงมากนัก การกระจายของอุณหภูมิของอากาศมีความใกล้เคียงกัน และมีความแตกต่างกันประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงในภาพประกอบ 5 จากการคำนวณความร้อนที่ผนังทั้ง 4 ด้านพบว่าด้านทิศตะวันออกมีความร้อนสูงที่สุดอยู่ที่ 142 วัตต์ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายในอาคารที่เวลา 7.00 น คือ 24°C ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศภายนอกมีค่าเท่ากับ 28°C

ในช่วงเวลาบ่ายอุณหภูมิของอากาศภายนอกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากภาระความร้อนจากอากาศภายนอกที่ผ่านเข้ามาจากเปลือกเพดานและหลังคาของอาคารแล้ว ยังมีการปล่อยความร้อนที่สะสมไว้ในเปลือกอาคารเข้าสู่อาคาร รวมถึงเป็นช่วงเลที่มีค่าความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ปัจจัยที่กล่าวมาในข้างต้นส่งผลต่อความผันผวนของอุณหภูมิภายในห้อง จากภาพประกอบ 6 ซึ่งแสดงการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้องในช่วงเวลา 15.00น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยานอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุด คือ 37°C แบบจำลองสวนหลังคาที่มีระบบไหลเวียนอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิของอากาศในห้องอยู่ที่ 29°C ซึ่งมีความแตกต่างจากอุณหภูมิภายนอกถึง 8°C แต่อย่างไรก็ตามจาก

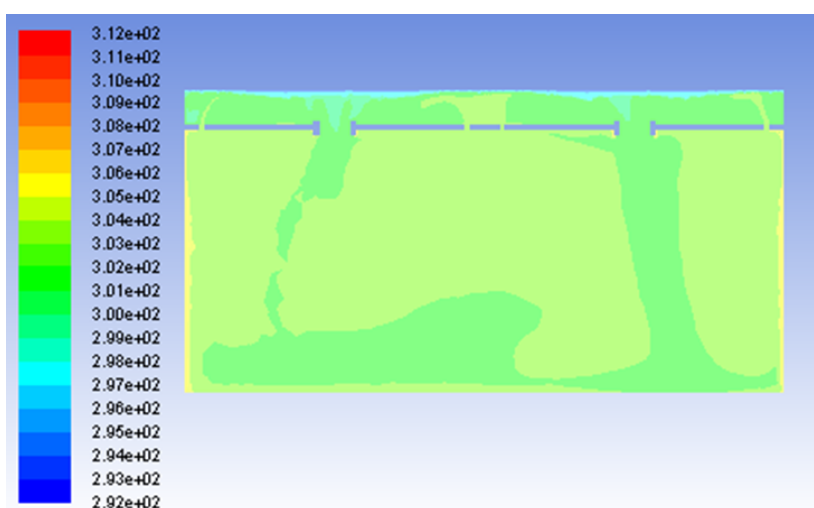
สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์, ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

ภาพประกอบ 6 จะเห็นได้ว่าอากาศภายในห้องมีความแปรปรวน และมีความต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประมาณ 6°C และจากการคำนวณความร้อนที่ผนังทั้ง 4 ด้านพบว่าด้านทิศใต้มีความร้อนสูงที่สุดอยู่ที่ 489 วัตต์ ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกอาคารด้านทิศใต้อยู่ในตำแหน่งที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ตลอดเวลาตั้งแต่เช้าจนถึงเวลาบ่าย ทำให้มีความร้อนสะสมในผนังทิศนี้มากกว่าทิศอื่น

ช่วงเวลาเย็นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ลดลงเมื่อเทียบกับช่วงเวลากลางวัน ประกอบกับอากาศภายนอกมีอุณหภูมิลดลงทำให้ความแปรปรวนของอุณหภูมิลดลง ดังแสดงในภาพประกอบ 7 ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของอากาศภายในห้องอยู่ที่ 3°C ในช่วงเวลา 18.00 น. อากาศภายนอกมีอุณหภูมิ 34°C อุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดสอบมีค่า 26°C จากการคำนวณความร้อนที่ผนังทั้ง 4 ด้านยังพบว่าด้านทิศใต้มีความร้อนสูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 258 วัตต์ เนื่องด้วยยังเป็นด้านที่รับรังสีแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง

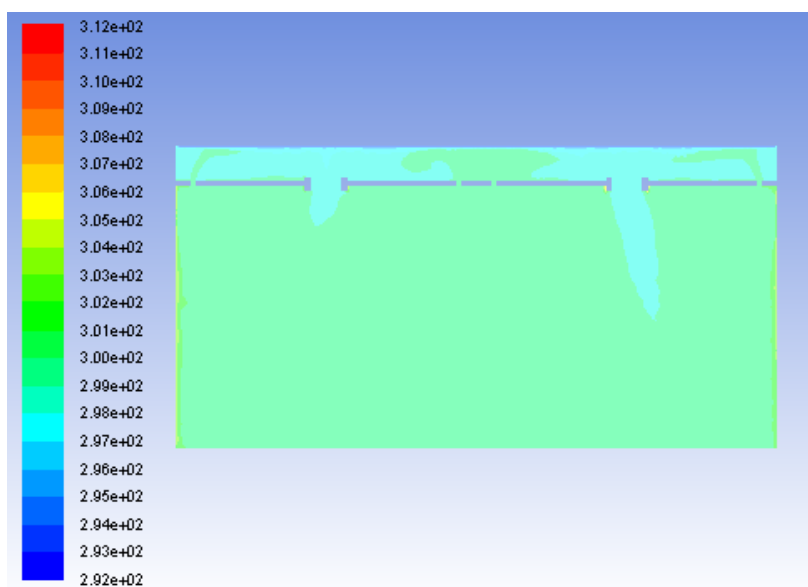
Temperature(K)



ภาพประกอบ 6 แสดงผลการทำนายการกระจายอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้สวนหลังคาในช่วงเวลา 15.00 น.

Temperature(K)

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์, ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)



ภาพประกอบ 7 แสดงผลการทำนายการกระจายอุณหภูมิของอากาศในห้องใต้สวนหลังคา
ในช่วงเวลา 18.00 น.

สรุปและอภิปรายผล

สวนหลังคาสามารถลดภาระความร้อนให้กับอาคารโดยอาศัยหลักการระเหยความร้อนของน้ำ ความชื้นที่เก็บสะสมไว้ในดิน จึงทำให้ผิวของเพดานด้านล่างของหลังคามีค่าคงที่ในตลอดทั้งวัน ในงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการพาความร้อนผ่านพื้นผิวเย็นมาใช้ร่วมกับแบบจำลองสวนหลังคา เพื่อพัฒนาระบบทำความเย็นแบบทางเลือกโดยไม่ใช้ระบบปรับอากาศทำให้สามารถลดการใช้พลังงานโดยที่ยังสร้างสภาวะสุขสบายให้เกิดขึ้นได้ การออกแบบระบบไหลเวียนอากาศในการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การไหลเวียนที่สามารถทำให้อากาศที่ส่งผ่านพัดลมมีกระจายตัวได้ทั่วทั้งพื้นที่ของห้อง จากผลการจำลองเชิงตัวเลขของการไหลเวียนอากาศพบว่ารูปแบบระบบการหมุนเวียนอากาศที่กำหนดขึ้นโดยใช้พัดลมระบายอากาศมีขนาดใบพัด 12 นิ้ว ซึ่งมีอัตราการไหลเชิงปริมาตรเท่ากับ 750 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีจำนวนสองชุดในปริมาตรควบคุมขนาด 3 X 6 X 3 เมตร ความสูงของฝ้ามีค่า 2.6 เมตรสามารถทำให้อากาศกระจายตัวได้ทั่วทั้งห้อง

จากผลของการจำลองสภาวะของอากาศภายนอกในช่วงเวลา 7.00 น. 15.00 น. และ 18.00 น. พบว่าสวนหลังคาที่มีระบบหมุนเวียนอากาศสามารถรักษาอุณหภูมิในห้องให้แตกต่างจากอุณหภูมิภายนอกประมาณ 6°C อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยในช่องลมเหนือฝ้ามีค่าคงที่ตลอดทั้งวันอยู่ที่ 27°C ที่ความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อวินาที และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกตลอดทั้งวันไม่ส่งผลต่อรูปแบบการไหลรวมถึงความเร็วของอากาศที่ไหลเวียนภายในห้อง

อย่างไรก็ตามพบความแปรปรวนของอุณหภูมิภายในห้องเกิดขึ้นในเวลาช่วงบ่าย และเป็น สาเหตุเนื่องจากภาระความร้อนจากการเพิ่มขึ้นของอากาศภายนอก การปล่อยความร้อนที่สะสมไว้ในเปลือกอาคาร และ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากสภาวะอากาศภายนอกที่ทำการทดลองมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 37°C อุณหภูมิอากาศภายในของแบบจำลองสูงสุดอยู่ที่ 29°C อยู่เกินเส้นขอบเขตสูงสุดของสภาวะสุขสบาย (18-27 °C) อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกมีค่าไม่เกิน 35°C แบบจำลองสวนหลังคาสามารถสร้างสภาวะสุขสบายให้เกิดขึ้นได้

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการจำลองเชิงตัวเลขของชุดทดสอบแบบสวนหลังคา แสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบหมุนเวียนการปรับอุณหภูมิของอากาศภายในห้องโดยใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคาผ่านช่องว่างเหนือฝ้าเพดานมาใช้ แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคาเป็นปัจจัยที่สำคัญของระบบ โดยตามผลวิจัยของ Permpituck and Namprakai (2012) ระบุถึงความหนาของชั้นดินเป็น 20 เซนติเมตร จึงทำให้อุณหภูมิของผิวของเพดานจะมีความแปรปรวนเล็กน้อยโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20 °C

นอกจากนี้ปัจจัยของขนาดช่องอากาศเหนือฝ้าเพดาน ซึ่งส่งผลต่อความเร็วของของอากาศที่ไหลผ่านผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคา นำไปสู่ผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและผิวเย็นด้านล่างของพื้นหลังคา และรวมถึงผลกระทบต่อความสูงของฝ้าในห้องควบคุม ดังนั้นการหาค่าความเหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องควรจะถูกวิจัยเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยนเรศวร รหัสโครงการ R2559C028 ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559

บรรณานุกรม

- เฉลิมพล ถนอมกลาง, จตุวัฒน์ วโรตมพันธ์.(2556). การจำลองประสิทธิภาพของสวนหลังคาโมดูลาร์สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. ใน *Built Environment Research Associates Conference*, ฉบับที่ 4. หน้า 10–15.
- ณัฐพล เตชพิชิตโชค, สุดาภรณ์ นุ่งลู่.(2556). อิทธิพลของสารเปลี่ยนสถานะที่มีผลต่อการลดความร้อนของช่องว่างใต้หลังคา. ใน *Built Environment Research Associates Conference*. ฉบับที่ 4. หน้า 25–30.
- พุทธิพันธ์ สวัสดิ์รัตนาร. (2550). การพัฒนาซอฟต์แวร์ช่วยวิเคราะห์ประเมินการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พชร เลิศปิวิวัฒนา.(2558). การออกแบบสวนหลังคา. ใน *วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*. ฉบับที่ 6. หน้า 19–34.
- กนกวลี สุธีธร.(2548). หลังคาเขียว: ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นจาก <http://www.land.arch.chula.ac.th/pdf/greenroof.pdf>.
- Permpituck, S., Namprakai, P. (2012). The energy consumption performance of roof lawn gardens in Thailand. *Renewable Energy*, 40(1), pp. 98–103.
- Wong, N. H., Cheong, D. K. W., Yan, H., Soh, J., Ong, C. L., & Sia, A. (2003). The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings*, 35(4), pp. 353–364.
- Lazzarin, R. M., Castellotti, F., & Busato, F. (2005). Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. *Energy and Buildings*, 37(2), 1260–1267.
- Poptani, H. (2014). Extensive Green Roofs: Potential for thermal and energy benefits in buildings in central India. In *30th International PLEA conference*, Vol 30. pp. 1-8.
- Ahasan, T., Ahmed, S. F., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., & Azad, A. K. (2014). Performance evaluation of hybrid

สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์ ,ขวัญชัย ไกรทอง, ณัฐพงศ์ เขียวน้อย
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2561 (129 - 143)

green roof system in a subtropical climate using Fluent. *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol 2, pp. 113–119.

Alcazar, S. S., Olivieri, F., & Neila, J. (2016). Urban Climate Green roofs: Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean – continental climates. *Urban Climate*. Vol17, 304–317.

Straube, J. (2007). Air Flow Control in Buildings. In *Building Science Digests*, Vol 14, pp. 18.

Hartwig, M. K., Klaus, S. (2010). Air-conditioning by chilled indoor fountains problem. In *Fraunhofer*, 37.

Susin, R. M., Lindner, G. A., Mendonca, K. C., & Mariani, V. C. (2007). Numerical analysis of indoor air flow in a room ventilated by a horizontal jet. In *The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings*, Vol 6, pp. 28–31.

Hajdukiewicz, M., Geron, M., & Keane, M. M. (2013). Validated CFD study of indoor environmental conditions in a highly glazed, cross-ventilated meeting room. In *13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association*, Vol 13, pp. 30–37.

Anderson Jr, J. D. (2009). Computational Fluid Dynamics. in *Computational Fluid Dynamics*. Springer.

Awbi, H. B. (2015). Ventilation and air distribution systems in buildings. *Frontiers Mechanical Engineering*, Vol 1, pp. 1–4.

Bibliography (In Thai)

Thanomklang, C., Varodompun, J. (2013). The Simulation of Modular Green Roof Performance for Buildings in Tropical Region. In *Built Environment Research Associates Conference*, Vol 4, pp. 10–15.

Tachapichitchok, N., Chungloo, S. (2013). Effect of Phase Change Material to Reduce Heat Gain for Attic Space. In *Built Environment Research Associates Conference*. Vol 4, pp. 25–30.

Sawasratanathon, P. (2007). Overall thermal transfer value analysis-based CAAD software development for energy conservation. Thesis. Thammasat University.

Lertpitiwatana, P. (2015). Roof garden design. In *Art and Architecture Journal*. Vol 6, pp. 19–34.

Suteethorn, K., (2005). Green roof: An Alternative Strategy for Stormwater Management. Faculty of Architecture, Chulalongkorn University. Retrieved from <http://www.land.arch.chula.ac.th/pdf/greenroof.pdf>.